

ROSKA TAMÁS

Info-bionika és érzékelő számítógépek



*Roska Tamás
villamosmérnök
az MTA rendes tagja*

Az elmúlt évtizedben az információs technológiák, a biotechnológiák és az idegtudomány találkozásából új kutatási terület jött létre, mely új termékek, szolgáltatások születéséhez is hozzájárult. Az előadás sok-sok példa segítségével ismerteti a rendkívül izgalmas új kutatási és innovációs törekvéseket, az „érzékelő számítógépek” születését és fejlődését. A sokféle érzékszervet utánzó érzékelő számítógépek a látás, a hallás, a tapintás és más információk alapján értelmezik és felismerik a situációt, és ennek megfelelően avatkoznak be. A biológia területén elsősorban az idegrendszer motiválta információtechnikai eszközökkel és gépekkel ismerkedhetünk meg, majd szó esik az élő szervezetekbe beépített protézisekről is. Az aggyal közvetlen kapcsolatba kerülő chippek a mesterséges eszközök és az élő szervezetek közötti szimbiózis irányába mutatnak.

A jelen előadásban bemutatott eredmények és példák nagy része az MTA SZTAKI Analogikai és Neurális Számítógépek Kutató Laboratóriumában, a Pázmány Egyetem Információs Technológiai Karának Interdiszciplináris Műszaki Tudományok Doktori Iskolájában, a Kaliforniai Berkeley Egyetem Nemlineáris Elektronikai és Látáskutatási Laboratóriumában, a Sevil-lai Mikroelektronikai Intézetben és újabban a Harvard Egyetemen születtek, ezen intézmények kutatóinak évek óta tartó együttműködése során.

1940-ben született Budapesten. 1964-ben kitüntetéssel diplomázott a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. 1974-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1982-től akadémiai doktora lett; 1993-tól az MTA levelező, majd 1998-tól rendes tagja.

Pályáját a Műszeripari Kutatóintézetben kezdte. 1982 óta az MTA SZTAKI-ban dolgozik, 1985-től a Duális és Neurális Számítógépek Kutatólaboratóriumának, 1991-től az Analogikai és Neurális Számítógépek Kutatólaboratóriumának a vezetője; egyetemi tanár (Veszprémi Egyetem, majd BME, illetve Pázmány Péter Katolikus Egyetem).

Számos akadémiai bizottság tagja, elnöke. Tudományos eredményeit nemzetközi folyóiratokban, konferenciákon tette közzé, több tankönyvet írt. Az *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* folyóirat főszerkesztője (2002, 2003).

Főbb kutatási területe: elektronika, számítástechnika, neurális hálózatok, analogikai érzékelő számítógépek. Társfelatlálója az első programozható analogikai celluláris szuperszámítógép-elnék, illetve chip-architektúrájának, valamint a „CNN bionikus szem”-nek.



Bevezetés – mivel foglalkozik az info-bionika?



Apple Lisa, az első személyi számítógép egérrel és grafikus interfésszel, 1981

A személyi számítógép, az internet-hozzáférés és a mobiltelefon mára közszükségleti cikké vált. Amikor a mai egyetemisták születtek, az ilyen számítási és kommunikációs teljesítmény csak néhány laboratórium privilégiuma volt Magyarországon, és bizony az iparilag fejlett országokban sem álmodtak arról, hogy otthon vagy utazás közben használjanak ilyen eszközöket.

Mi a következő lépés? Mit tartogat számunkra az elektronika fejlődése? Az elektronika vagy az információtechnika fogalmát itt széles értelemben használjuk, tehát az elektronikus eszközök technológiáját, a számítástechnikát, a távközléstechnikát, az ember–gép kapcsolat eszközeit éppúgy beletérjük, mint az automatizálás, a robotika és a mérés technikáját, az audiovizuális technikát. Szokás ezt összefoglalóan információs technológiának is nevezni (ez a fogalom sokkal tágabb, mint a köznyelvi „informatika”).

Az elektronika fejlődésének első hulláma az 1970-es években kidolgozott olcsó mikroprocesszorokra épített PC-ipar volt az 1980-as években; a második az 1980-as évek végén kidolgozott olcsó lézerre és olcsó távközlési sávszélességre épített internet- és mobiltelefon-ipar az 1990-es években. A harmadik hullámot az „érzékelők forradalmának” szokták nevezni, ami magában foglalja az összes elképzelhető mesterséges érzékelő és beavatkozó eszköz tömeges és olcsó előállítását. A látás, a hallás, a tapintás eszközei csak a kezdetet jelentik, a szaglás és az ízlelés utánzása, valamint a hely és a helyzet mérése, a gyenge elektromos terek és a molekuláris érzékelés megannyi formája egészíti ezt ki. A mozgató, a hely- és helyzetváltoztató eszközök csak a jéghegy csúcsát jelentik a különféle beavatkozó szerkezetek között. A kamera beépül a mobiltelefonba, a rezgő hívásjelzés pedig a szem és a fül megkerülésével ad információt.

Ezeknek a technikáknak az együttese új lehetőségeket kínál, új berendezéseket terveznek velük, új termékek és szolgáltatások jelennek majd meg. Létrejönnek az érzékelő számítógépek és az ezeket hasznosító egyéb berendezések, amelyekben a számítógép egy alkatrészé válik. Ugyanakkor megjelennek a másféle számítógépek, amelyek az érzékelt sok ezer vagy millió jelet egyszerre dolgozzák fel, s versenyre kelnek az ügyes állatokkal is.

Az információs technológiák és a biotechnológiák egy különös találkozási pontján néhány éve új, markáns kutatási terület bontakozott ki, amely rövid időn belül új termékek és szolgáltatások ezreit fogja létrehozni, és átalakíthatja az ember életkörnyezetét. Ez a drámaian új fejlődési trend a *bionika* vagy *info-bionika*. A terület jelentőségét többek között az is mutatja, hogy a közelmúltban az Egyesült Államok Nemzeti Kutatási Alapja (NSF) és az Európai Unió kutatási programjának frontvonalát jelentő Future and Emergent Technologies (FET) Hivatala egyik első transzatlanti programként BIONICS címen új kezdeményezést fogalmazott meg.

Az info-bionika három alapvető területre osztható.

1. A biológia motiválta információs technológiák alkalmazásának első nagy területe a *biológia inspirálta algoritmusok világa*. Ebben elsősorban az



idegrendszerre, ezenkívül a genomikára és az immunrendszerre gondolunk. Fontos, hogy különösen az első területen – a neuromorf algoritmusok esetén – a multimodális érzékelés (például látás, hallás és tapintás egyszerre), az információfeldolgozás és a beavatkozás teljes spektrumában gondolkodunk, beleértve egyes **kognitív** motivációkat, illetve a humán nyelv- és értéstechnológiát. Ilyen feladat például egy robotporszívó, amely maga kiporszívózza a szobát, egy automatikus navigáló berendezés, amely egy pilóta nélküli kis repülőgéppel felfedezi és bepermetezi a permetezésre szoruló területeket, vagy akár egy automatikus lapozógép, mely kiválasztja és lemásolja a másolandó oldalakat egy folyóiratból. De ilyen feladat a megbízható beszéd- és kézírás-felismerés is.

Fontos megjegyezni, hogy a kapcsolat a biológia és a számítástechnika között nem egyirányú. Különösen vonatkozik ez a genomikára, ahol az úgynevezett bioinformatika a genomhoz kapcsolódóan a diszkrét értékeken operáló algoritmusokkal képes gyorsan felfedni olyan összefüggéseket, amelyek korábban szinte lehetetlenek voltak (a négy és húszértékű kódok és a háromdimenziós szerkezetek esetén).

2. A következő terület a *bionikai interfészek (interface)* világa, a kapcsolatot megteremtése a mesterséges, elsősorban elektronikus szerkezetek és az élő szervezet egyes pontjai között. Gondoljunk itt például az élő szervezetbe épített autonóm mesterséges érzékelő, számító-, beavatkozó eszközökre és interfészeikre, valamint az elhalt szövetrészek pótlását szolgáló protézisekre vagy a gyógyszeradagolókra. Ilyen feladat a ma már széles körben elterjedt fülbe operálható protézis, amellyel mintegy százezer halláskárosult ember képes újra hallani, vagy a krónikus betegségben szenvedő ember beépített gyógyszeradagolója, illetve egy mozgáskárosult személy újra mozgásképesse tétele. Ennek a területnek talán a legnagyobb kihívása a szemprotézis.

3. Mindezek előkészíthetik az utat a *mesterséges-élő szimbiózisok* kidolgozásához az újfajta információtechnikai feladatok ellátására. Ezekkel az eszközökkel interaktív összjáték jön létre a mesterséges és az élő rendszer között. Egyelőre majomkísérletekkel bizonyíthatók elemi távmozgatások, melyek során az agy mozgató területeiről vezeték nélkül elvezetett elektromos inger egy távoli robotkart vezérel.

Vajon van-e remény arra, hogy Magyarország is bekapcsolódjon és az élvonalba kerüljön az új csúcstechnológiai kutatások és innováció területén?

Magyarországon az elektronika és információtechnika, valamint a neurobiológia tradicionálisan erős tudományos iskolákra támaszkodik (például Simonyi Károly, Kalmár László és Szentágothai János tudományos iskolái). Ezek a szakterületek az elmúlt tíz évben itthon – nemzetközi összehasonlításban is – színvonalas multidiszciplináris tevékenység alakult ki, és egy speciális, erre a területre fókuszáló doktori programban már több mint egy tucat fiatal kutató szerzett doktorátust. Több helyen van posztgraduális képzés; a Pázmány Egyetemen (2004 júniusában) már harmadikosok azok az egyetemi hallgatók, akik Európában először úgy lesznek információtechnikai mérnökök, hogy már az első évtől folyamatosan megis-

Kognitív:

az emberi agy megismerő működésével kapcsolatos, magában foglalja az észlelést, az emlékezést és a gondolkodást.

Interface:

eltérő rendszerek közötti csatlófelület, például a számítógép és az ember között, vagy – a jövőben – az elektronika és az idegrendszer között.



A Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Kara a Práter utcában

merkednek az idegrendszer információtechnikájával is. Egy éve a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával megalakult a Magyar Info-Bionikai Kutatóközpont hat egyetem és hat MTA-intézet együttműködésével. Ez a központ több tucat olyan fiatal, doktorátussal rendelkező kutatót és doktoranduszt gyűjtött össze, akik már külföldön is bizonyították rátermettségüket, s Magyarországon is sikerre vihetik az új irányzatot.

De mindez nem lenne elegendő, ha nem tudnánk szoros kapcsolatot ápolni a világ nagy kutatóközpontjaival, és aktív együttműködést kialakítani az új szakterületeken most szerveződő vállalatokkal. Ezt a célt szolgálja egy most alakult konzorcium, a Józsefvárosban működő Bio-info-medical Innovation Park, amelynek alapítói a Semmelweis Egyetem, a Pázmány Egyetem Információs Technológiai Kara, az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézete, a Richter Gedeon Rt. és a hozzájuk csatlakozó kis cégek. Az innovációs központ inkubátorházában nemcsak a gyógyítással kapcsolatos nagy értékű orvosi képalkotó infrastruktúra lesz elérhető, de a kezdő vállalatok indulását segítő gazdasági, jogi és pénzügyi infrastruktúra is létrejön. Erre a technológiai irányzatra ugyanis az jellemző, hogy a teljes innovációs lánc különböző fázisai (kutatás, fejlesztés, kísérleti gyártás, terméklétrehozás, marketing, értékesítés, szerviz) szoros kapcsolatban állnak egymással, azaz viszonylag gyorsan lehet az új tudományos eredménytől eljutni a termékig.

Érzékelő számítógépek

Analogikai celluláris számítógép:

olyan működési elvű számítógép, amelyben – a digitális számítógéppel ellentétben – az adatok nem digitálisan kódolt számok, hanem tipikusan képfolyamok vagy hanghullámok folyama, vagy a tapintással szerzett nyomáshullámok folyama.

Templát:

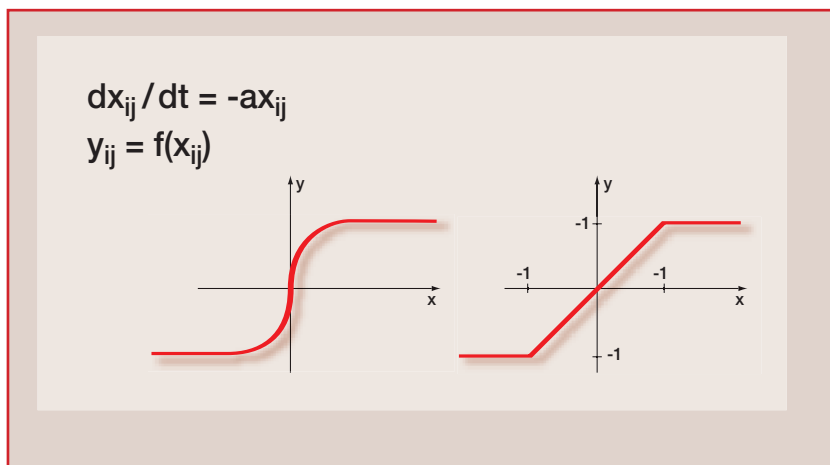
a cellák közötti csatlások erősségét mátrixok adják meg: az előrecsatoló (B) és a visszacsatoló (A) mátrix, valamint a (z) küszöbérték, ezeket együttesen templátnak nevezzük.

Miért oly hihetetlenül ügyes egy számítógép, ha számokkal kell műveleteket végeznie vagy logikai döntések millióit elvégeznie, adatok milliárdjaiból kiválasztani valamit? Ugyanakkor miért oly ügyetlen, ha az állatok leg-egyszerűbb érzékelő és téridőbeli képességeit kellene utánoznia? Miért okoz problémát egy számítógépnek egy hal úszása, egy légy repülése, egy galamb párjának felismerése, egy sas látásának „élessége”, egy majom akrobatikus ugrás-fogás teljesítménye, egy kutya szaglása? És még számtalan további példát sorolhatnánk annak demonstrálására, hogy jelenlegi gépeinkkel eleve vesztesre állunk a legegyszerűbb versenyben. Figyeljünk arra, hogy itt nem az emberi gondolkodásról van szó, hanem a legegyszerűbbnek tűnő téridőbeli ügyességről.

Mi itt a titok? Ezeknek a feladatoknak az az egyik tulajdonsága, hogy bennük az érzékelés és az azt követő „számítás”, majd beavatkozás eggyé olvad. A másik tulajdonságuk, hogy az érzékelő elemekből nagyon sok van, a harmadik pedig az, hogy a gyakorlás és az adott helyzethez való adaptálódás is fontos szerepet játszik. A szélben ingadozó fákön ugráló majom a mozgó ágat is jól el tudja kapni.

Fontos jellemző az is, hogy sokszor több érzékszervre van egyszerre szükség, illetve ezek összehangolására, sőt ügyes érzékelők működtetésére még a voltaképpeni érzékelés előtt (például a tapintáshoz meg kell tervezni a hatóerőt, a kezet vagy a bajuszt megfelelően kell mozgatni stb.).

A sas, a bagoly, a denevér azonban nemcsak érzékel, hanem „kiszámít”, és a körülményekhez alkalmazkodva végre is hajt valamit. A mesterséges érzékelők forradalmához hozzátartozik az érzékelőket követő számítógép. Ma már van olyan repülőgépszárny, amely egyrészt érzékeli a felületi nyomást, másrészt azonnal alkalmazkodik is: megváltoztatja a felületét, hogy csökkentse a turbulenciát.



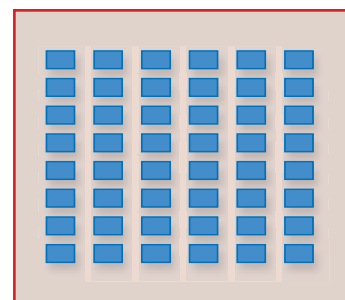
Az érzékelő számítógép elemei:
a cellák leírása

A folytonos, úgynevezett analóg jelek sokaságát követő, azokkal szinte integrálódó számítógép egy kézenfekvő lehetősége az **analogikai celluláris számítógép**-elvre épülő „érzékelő számítógép”. Az adatok itt nem digitálisan kódolt számok, hanem tipikusan képfolyamok vagy hanghullámok folyama, vagy a tapintással szerzett nyomáshullámok folyama. De nemcsak az adatok mások, hanem a számítógépségek meg az utasítások is.

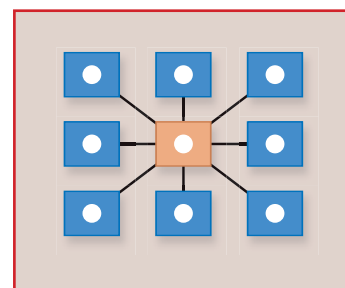
Számítógépeinket elsősorban az *elme inspirálta* (*mind inspired*), de szükségünk van olyan gépekre is, melyek az ideg- és az izomrendszer mintájára működnek, beleértve a dinamikusan integrált érzékelést. *Agy inspirálta* számítógépekre is gondolunk most. Ezek egy részét nevezzük érzékelő számítógépeknek.

A következő példában egy ilyen számítógép elemeit mutatjuk be. Ebben az esetben a képérzékelés és -felismerés a feladat.

Minden egyes kis képelemhez – ahogy mondani szoktuk, pixelhez – tartozik egy számítógépecske, egy cella. Ezek a cellák egy kétdimenziós rácson vannak elhelyezve úgy, mint a képernyő világító képpontjai. Minden cellának van fényérzékelője is, meg saját kis memóriája (ezek analóg és logikai jeleket tudnak tárolni), valamint a szomszédaival való akciót végrehajtó szerve. Ez utóbbi akciók erősségei változhatnak a szomszédság irányától függően (például más és más lehet a kapcsolat erőssége az északi, a déli, a délnyugati stb. szomszédokkal). Ezt a szomszédkapcsolati mintázatot nevezzük a cella-számítógépecske **templátjának**. Ha csak a közvetlen szomszédokkal van kapcsolat, akkor ez megadható 3×3 -as elrendezésben. De a kapcsolat nemcsak egyirányú, hanem kölcsönös, azaz visszafelé irányuló kapcsolattal is számolnunk kell. Ez tehát egy másik 3×3 -as számhalmaz. Ehhez még hozzáadunk egy saját érzékenységet jelző számot, és így a szomszédsággal való kapcsolat a $9 + 9 + 1 = 19$ számmal jelle-

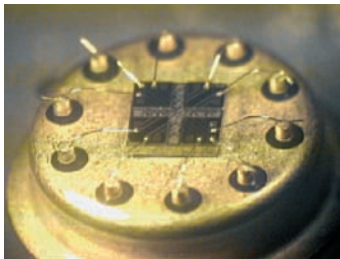


Egyszerű rács



Egyszerű összeköttetés

A CNN dinamika



Áramlásmérő szenzor

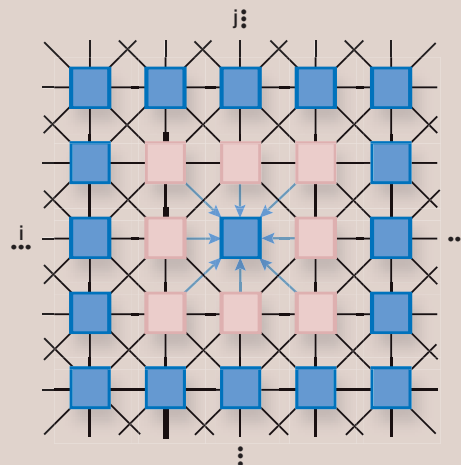


Többobjektumos lézeres követő



Bi-i: a leggyorsabb kamera-számítógép

CNN-UM chip fejlesztési előzmények

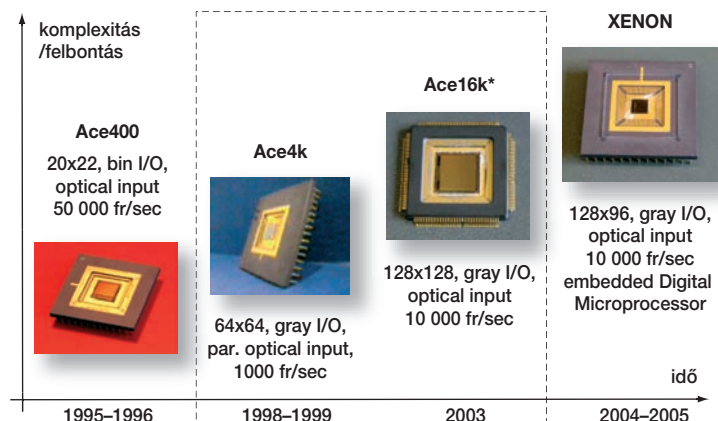


Celluláris
Neurális / nemlineáris
Hálózat (CNN):

- analóg processzor tömb
- egy szabályos rácson
- síkban homogén (invariáns)
- lokális kapcsolatokkal

mezhető. A cella-számítógépecske templátja tehát 19 számmal jellemezhető, ez jelenti az elemi utasítást. De ez nem meglepő, hiszen a retinában és a látórendszerünk egy jó részében éppen ilyen a szomszédossági struktúra, amelyet **receptív mező**nek hívnak. Egy ilyen templáttal a bejövő képen definiálunk egy számítást, amely egy hullámjelenség, és – mondjuk – kiszámolja a képen lévő tárgyak éleit vagy sarkait. Ezekből az elemi hullámokból épül fel a mi analogikai celluláris érzékelő számítógépünk, amit újszerűen, de ügyesen lehet programozni. Ez a programozás közelebb áll egy Rubik-kocka mozgatásának megtervezéséhez, mint egy matematikai egyenlet megoldásához.

A továbbiakban bemutatandó egyszerű példákkal majd azt is illusztráljuk, hogy egy látszólag bonyolult képfelismerési feladatot – például egy csoportképen felfedni, hogy ki mosolyog – milyen egyszerűen tudunk ezzel a számítógéppel megoldani.



A programban felhasznált CNN-UM chipek (ACE4k és ACE16k™) a Sevilla-i IMSE kutatóival közösen készültek európai és amerikai (CEU-FET és ONR) projektek támogatásával

Az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetében működő Analogikai és Neurális Számítógépek Kutatólaboratórium dolgozói – a Sevillai Mikroelektronikai Kutatóintézet és a Kaliforniai Berkeley Egyetem munkatársaival együttműködve – ezt az újfajta érzékelő számítógépet egy kis látó mikroprocesszor formájában is megvalósították, amely egy chipen 16 ezer kis számítógépecskével képes 128×128 -as képfolyamokat 50 ezer pillanatkép/másodperc sebességgel elemezni. Ez több mint ezerszer gyorsabb a televíziós kameráinknál, amelyek nem elemezik, csupán felveszik és továbbítják vagy tárolják a képfolyamokat.

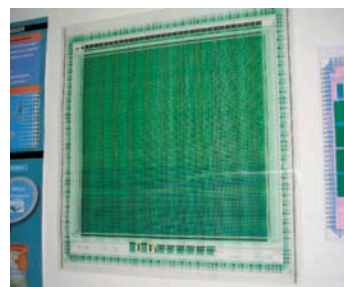
Ezt a vizuális mikroprocesszort használták azok a fiatal kutatók és mérnökök Zarándy Ákos kollégám vezetésével, akik létrehozták a világ leggyorsabb kamera-számítógépét, mely tavaly ősszel Stuttgartban egyedülként nyerte el „Az év terméke” kitüntetést, és első díjat nyert a mesterséges látás kiállításon. Ez az úgynevezett *Bi-i* kamera-számítógép két mesterséges szemmel „néz és lát”, azaz képet érzékel és értelmez. A két „szem” lehet azonos vizuális mikroprocesszor, ekkor a térbeli jelenségeket is rekonstruálhatjuk, a másik esetben az egyik szem egy nagy felbontóképességű, de önmagában számításokra alkalmatlan kamera-chip. A *Bi-i*-ban lévő nagy teljesítményű digitális jelfeldolgozó processzor úgy köti össze a két szem működését, mint ahogyan a szemünkben lévő nagy felbontású, sokmillió érzékelős globális látás és a részleteket értelmező, mindössze ötven ezer érzékelőt tartalmazó, közepén lévő **fovea** működik együtt – már amennyire ezt ma megérthetjük. A *Bi-i*-hoz használt szoftver már egy új világot jelent, az analogikai térbeli globális-lokális dinamikus algoritmusokra épülő eljárások és módszerek világát.

Ebben az új algoritmikus és szoftvervilágban új fogalom a **proaktív**, adaptív, interaktív **érzékelő-beavatkozó algoritmus**. Ennek egyik különleges lépése az érzékelés előtti akció kialakítása, amelynek eredménye maga az érzékelés – erre a mechanizmusra a fejezet elején utaltunk az állatok mozgását vizsgálva. Például ha tapintunk, akkor a kezünkkel először valamilyen akciót – adott irányú nyomást – kell végrehajtani, és csak ezután érzékelünk tapintó érzékelőinkkel, majd ennek eredményétől függően változtatjuk a nyomást. Látás esetén a legegyszerűbb ilyen módszer a stroboszkópia, az előre megtervezett, periodikus pulzáló fénymegvilágítás melletti érzékelés.

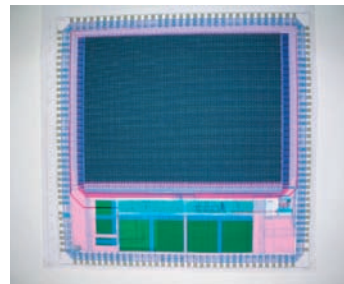
Alkalmazások és kihívások

Távjelenlét

A távjelenlét azt jelenti, hogy a sokféle érzékelővel ellátott számítástechnikai eszközök képesek egy távközlési csatornán keresztül nemcsak közvetíteni, hanem értelmezni is a szituációt. Tekintsünk például egy gyerekzobát, ahonnan az édesanya kimegy a konyhába dolgozni. Milyen felügyeleti távjelenlétet terveznénk ide? Első gondolatunk egy kamera



Ace16k



Xenon

Receptív mező:

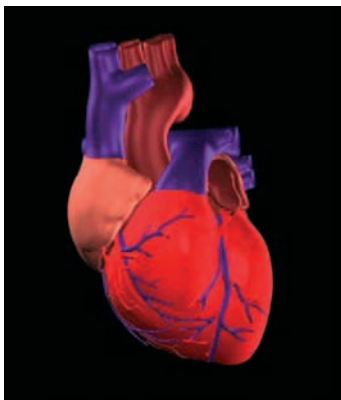
a latórendszer topografis részének egy régiója, amely egy konkrét idegsejttel, illetve képponttal direkt kapcsolatban van.

Fovea:

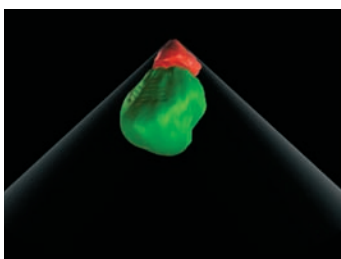
a retina közepén található, az éleslátásért felelős terület, mintegy ötvenezer fotoreceptort tartalmaz.

Proaktív érzékelő algoritmus:

érzékelés előtti akcióra épülő algoritmus, így lehet modellezni például a tapintást: a kezünkkel először valamilyen akciót hajtunk végre, és csak ezután érzékelünk tapintó érzékelőinkkel, majd ennek eredményétől függően változtatjuk a nyomást.



*Az emberi szív artériákkal
és vénákkal*



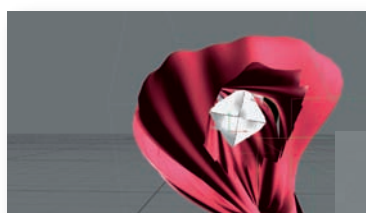
*3D rekonstrukció az ultrahang
jelfolyamáról*

*Beavatkozások virtuális
kivitelezése a pitvarok régiójában*

felszerelése, amely detektálná a veszélyes helyzeteket, és jelezne – mondjuk csöngetne – a mamának, hogy figyeljen oda a kamera képét mutató konyhai monitorra. Már ezt az egyszerű feladatot sem könnyű megoldani, hiszen nagyon sokféleképpen tud egy gyermek veszélybe kerülni, például nemcsak akkor, ha kimászik az ágya szélére. Esetleg egyszerűbb, ha hangokat rögzítünk, elemzünk és/vagy közvetítünk egy hangszóróba, melyet a konyhában szereltek fel. Lehet azonban, hogy a látványból és a hangból egyszerre könnyebben lehet veszélyhelyzetre következtetni. Például a sírás hatására odafordul a kamera a hang felé. Esetleg kiegészítjük a rendszert úgy, hogy a szag érzékelése egy „elektronikus orr”-ral kezdődő tüzesetre hívhatja fel a figyelmet. Ekkor már három mesterséges érzékszerv vesz rész a távjelenlét helyzetértékelésében. Ehhez azonban tudnunk kell az adott szoba berendezését, a gyerekek szokásait, fizikai képességeit, hangszínét és tipikus, illetve rendkívüli esetekre jellemző hanghordozását stb.

Ultrahang-szívdiagnosztika

Ha egy szívultrahang-vizsgáló készülékkel nézzük a dobogó szív képét, bizony egy laikus nem sokat lát az elmosódó pulzáló foltokból. Egy szakértő orvos számára viszont kitűnnek a jellegzetes üregek (a két kamra és a két pitvar) belső kontúrjainak jellemzői. A közelmúltban a Szent Ferenc Kórházzal együttműködve sikerült olyan rendszert kidolgozni, amellyel a szív bal kamrájának pulzáló belső kontúrját lehet valós időben, azaz a jelenséggel egyszerre megmutatni. Sőt a kamra néhány jellemzőjére és hibájára is fel lehet érzékelő számítógépünkkel hívni a figyelmet. A Gottsegen György Gyermekszívkórházban pedig ugyanezzel a celluláris hullámszámítógéppel, illetve vizuális mikroprocesszorral térbeli, szívkontúrokat is tartalmazó mozgóképeket tudtunk meghatározni, amelyek a szívoperációkat is segítik. Mindkét kórházban kiépítettek egy-egy nagy adatbázist,



**Intervenció zárás
3D kivitelezése**

**Virtuális ASD zárás
Starflex® septal occluderrel**



amelyekkel tesztelhetők az új eljárások, és amelyek az orvosi továbbképzésben is jól használhatók.

Navigáció

Gyakori feladat, hogy egy mozgó autonóm szerkezet (pilóta nélküli repülő, mozgáskorlátozott személynek segítő robot stb.) navigációját kell megoldani többféle szenzor igénybevételével. Ezekben az esetekben sokféle érzékelő modalitásban kell kiismernünk magunkat; fel kell ismerni a szituációt és ennek megfelelően navigálni a mozgó objektumot. Ezen dolgoznak egy ideje az AnaLogic Computer Kft. mérnökei a NASA megbízásából. A kutatás célja az, hogy egy majdani Mars-repülés esetén olyan kis, pilóta nélküli repülőgépecskéket lehessen bevetni, melyek képesek az előre definiált típusos Mars-felszín felismerésére és követésére.



Mobil megfigyelő

Autóbiztonság

Sok balesetet el lehetne kerülni akkor, ha az autóvezetőt idejében lehetne figyelmeztetni a veszélyre, vagy ha vészhelyzetben, amikor már az emberi reflexek nem elég gyorsak, automatikusan bekövetkezne a fékezés. Az előbbi esetre jó példa az a reflexünk, amellyel egy gyorsan közeledő tárgyat automatikusan észreveszünk, és ha az ütközésig terjedő idő (*time to contact*) kicsi, akkor reflexszerűen odafigyelünk, illetve fékezünk. Ezt a jelenséget is utánoztuk a vizuális mikroprocesszorunkkal, de újabban – egy európai kutatási projekt keretében – a szöcske ütközésselkerülő mechanizmusát is szeretnénk utánozni. A szöcskének öt szeme van, két nagy, amellyel oldalirányban néz, a három kisebb pedig csak előre néz. Ennek a mechanizmusnak és más analogikái, vizuális algoritmusoknak a segítségével szeretnénk egy olyan rendszert kidolgozni a Volvo szakembereivel és másokkal együtt, amely a következő autógenerációban hasznosulhat.

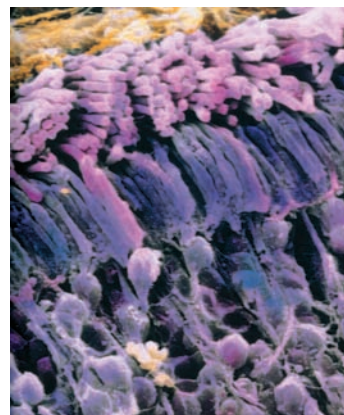
Retina:

a szem fotoreceptorokat is tartalmazó rétege, amely az optikai idegkötegekbe juttatja a jeleket.

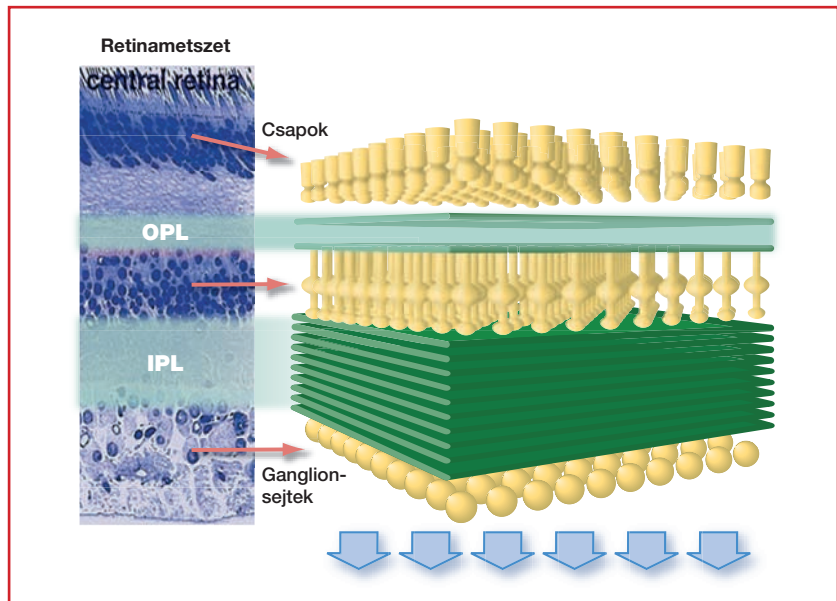
Két meglepő csúcsteljesítmény: első lépések a látó- és mozgatóprotézisek területén

A retinaprotézis felé vezető út

Egészen a közelmúltig a látóprotézis távoli feladatnak tűnt, noha több nagy kutatócsoport dolgozott és dolgozik rajta szerte a világon évek óta (elsősorban Németországban és az Egyesült Államokban). Ennek ellenére évek után is csak részeredmények születtek. Még ha tökéletesen ismernénk is a **retina** működését, és tökéletesen tudnánk elektronikusan egy chippel utánozni, akkor hátra volna még egy óriási feladat megoldása: az állandó és megbízható kapcsolat megteremtése az idegrendszerrel. Ez a kapcsolat sok-



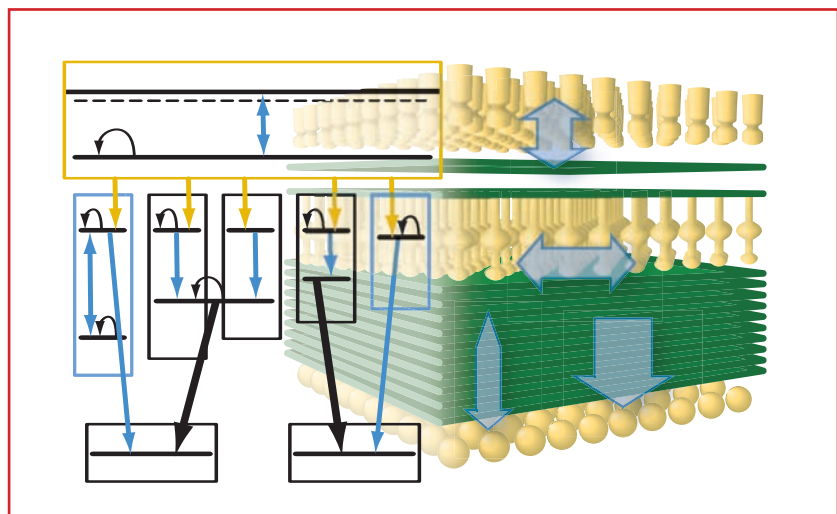
Pálcikasejtek az ember retinájában



A retina szerkezete

kal bonyolultabb, mint bármely más protézisnél. Ugyanis nem csupán néhány ponton kell csatlakozni, hanem több száz vagy ezer ponton. Ráadásul a szemünk csodálatosan jól van elrejtve. Sok más egyéb nehézség is felmerül, melyekről most nem beszélünk.

Az első kérdés persze az, hogy milyen a retina és hogyan működik. Három évvel ezelőtt még a retina belső részének a működési módja ismeretlen volt. Ám a *Nature* című folyóirat 2001. márciusi számában két, Berkeleyben dolgozó kutató (Roska Botond és Frank Werblin) publikálta felfedezését arról, hogyan működik egy emlős retinájának belső része és egésze. Egy csapásra megváltozott a retináról alkotott képünk: tucatnyi csodálatosan szervezett parallel csatorna tárult fel a szemünk előtt, mintha egy tucat képernyő mutatná a retina kimenetén a nézett világ különböző tulajdonságait. Az egyiken például a kontúrok látszanak, néhány másíkról viszont még ma sem tudjuk, hogy pontosan mit is kódol. Mégis ennek alapján ki tudtunk dolgozni egy közelítő, programozható retinamodellt a celluláris hullámszá-

Számítástechnikai struktúra
a retina modellezésére

mítógépünkön. Mindez persze mit sem változtatott a fent említett millió egyéb nehézségen, ami a retinaprotézis útjában állt.

Csak hogy a múlt év végén Los Angelesben – a Dél-kaliforniai Egyetem egyik klinikáján, ha csak kis felbontással is (4×4 pixel), de – hat, valamikor látó, majd megvakult betegnél sikerült ezeket a kis szemprotéziseket úgy beültetni, hogy a betegek kiláttak a chipeken keresztül, és fejük mozgásával pásztázták a környezetet. Bár jól tudjuk, hogy ez még csak az első lépés, és nem szabad vérmes reményeket táplálni a közeli bevezetéssel kapcsolatban, ez a lépés mégis megtörte a jeget sokévnnyi fáradozás után. Az egyik fontos kérdés, amelyen most dolgozunk, az, hogy hány csatornát kell rávezetni a protézisre ahhoz, hogy az már elég jól reprezentálja a valóságot, de még ne keverje össze a különböző csatornákat. Valószínűleg ez elméletileg, illetve szimulációval nem dönthető el.

Fontos és érdekes kérdés, hogy mennyiben számíthatunk arra, hogy bár a mesterséges protéziseink tökéletlenek, az agy hihetetlen rugalmassága és tanulóképessége (plaszticitása) segít majd benne, hogy e tökéletlen eszközök révén szerzett információk alapján is tökéletesebben lássunk, halljunk, tapintsunk stb.

Egy megbénult végtag részleges mozgatása

Ugyancsak régi vágyunk, hogy a megbénult végtagokat legalább részlegesen mozgatni lehessen. A közelmúltban több ilyen eredmény született. Az egyik esetben egy deréktól lefelé megbénult személy képes lett felállni úgy, hogy a megfelelő izommozgató idegvégződéseit elektronikusan ingerelték. Egy másik megbénult beteg keze vált alkalmassá rá, hogy fogjon stb. Egy előrejelzés szerint (*Neurotech Reports*, San Francisco) négy év múlva az implantált eszközök piaci részesedése 3,6 milliárd dollár lesz.



Egy gerincsérült feláll

Direkt kapcsolat az agyműködéssel

A legbonyolultabb feladat kétségtelenül az aggyal való közvetlen kapcsolat kialakítása. Ez persze nemcsak lehetőségekkel, hanem óriási veszélyekkel is jár. Itt már a bioetikai felelősség is sokkal nagyobb, mint az előbbi esetekben, bár ez a kérdés szinte az egész területen kulcsfontosságú, és határt kell szabni az üzleti mohóságnak.



Távmozgatás az agy motoros kérgéből elvezetett jelekkel

A súlyos balesetek áldozatai sokszor oly mértékben megsérülnek, hogy már nincs mód a végtagcsonkok kiegészítésére. A kutatók azt remélik, hogy ha az agy mozgató, úgynevezett motoros kérgéből vezetünk el vezeték nélkül jeleket, akkor ezekkel a jelekkel nemcsak az ép végtagot, hanem egy robotkart is lehet vezérelni. E tekintetben egy fontos – bár csak első – lépés az a közel-múltban végrehajtott kísérlet, amelynek során egy majom motoros agykérgéből elvezetett jelekkel le lehetett utánozni egy távoli robottal azokat a mozdulatokat, melyeket a majom a keze ügyében lévő botkormánnyal végez.

A kísérlet következő lépése a majom és a robotkar szimbiózisa lenne: azt tervezik, hogy az agy hihetetlen plaszticitása miatt a majom a látórendszere útján történő visszacsatolással képes lesz rá, hogy a közelében lévő karra tett banánt odamozgasson a szájához, miközben a karhoz csak a motoros kérgéből elvezetett jelek révén kapcsolódik. Ez volna az a bizonyos szimbiózis, amely már valóban interaktív kapcsolatot jelent az agy és a mesterséges eszköz között (az előadást követő hetekben a kísérlet sikeresen lezajlott).

Epilepsziás görcs előrejelzése

Sajnos az epilepszia az iparilag fejlett országokban egyre gyakoribb. Egyes statisztikák szerint vannak területek, ahol a népesség minden kétszáz egyedből legalább egy, legalább egyszer az életében epilepsziás görcsöt tapasztal. A betegség gyógyítására sokféle módszer van. Vannak esetek, ahol a gyógyszeres és egyéb kezelés nem segít, ilyenkor sokszor műtetre kerül sor. Az első lépésben kiderítik, hogy hol vannak a görcszőnák. Ilyenkor az agyfelületre több tucat érzékelőt tesznek, amelyekről az elektromos jeleket dróton kivezetik és mérik. Ennek kapcsán kísérleteznek azzal, hogy a sok tucat elektromos jelből néhány perccel előre megjósolják a görcs beálltát. A bonni epilepsziaklinika és egy frankfurti kutatócsoport együttműködése során sikerült megoldani az előrejelzést, részben a már korábban ismertett analogikai celluláris hullámszámítógépet megtestesítő vizuális mikroprocesszorral.

Ez azonban csak az első lépés. A következő az, amikor ezeken a drótokon keresztül – ha a görcs előrejelzése bekövetkezik – olyan elektromos jeleket küldenek, amelyek meggátolják a görcs kialakulását. Ez viszont már minőségi változás, hiszen most már az emberi agyba avatkozunk be. Ráadásul úgy, hogy nem ismerjük az esetleges mellékhatásokat, azaz újfent a bioetika egyik súlyos dilemmájával állunk szemben az emberi méltóság védelmében.

Elektronikus kapcsolat megteremtése az idegrendszerrel

Különösen nehéz feladat az elektronikus kapcsolat (*probe, interface*) megteremtése az agyi idegsejtekkel. Ez a technológia az elmúlt években tökéletesedett annyira, hogy egyszerűen több ponton is lehet mérni/beavatkozni.

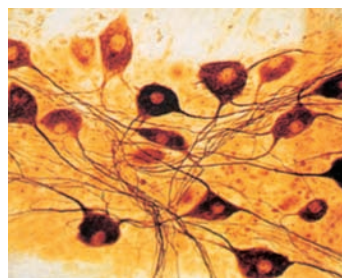
A többpontos, egyvonalas (függőleges) probe-nak egy igen sikeres változatát dolgozta ki az MTA Pszichológiai Kutatóintézetben Karmos György és Ulbert István.

A másik változat a síkban elhelyezett elektródátömb, mondjuk 10×10 -es elrendezésben. Ekkor már a tömbnek a benyomása sem egyszerű. Újabban olyan megoldásokkal is kísérleteznek, ahol kis átmérőjű lyukakon keresztül vándorolnak az ionok.

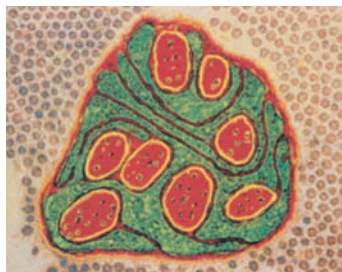
Vannak olyan kísérletek is, amelyekben egy chipen építenek fel élő neuronhálózatokat. Az Infineon cégnél egy 128×128 -as rácsban hoztak létre egy neuronhálózatot, ahol a neuronokat gerjeszteni és a kimeneteket mérni lehet. A chip segítségével végzett gyógyszerkísérletekben nagyon direkt módon lehet mérni a gyógyszerek hatását.

Ugyancsak izgalmas kérdés a mozgatóidegek ingerlése olyan beépíthető kapszulákon keresztül, amelyek hosszú ideig az emberi szervezetben maradnak.

Végül megemlíteném az elektronikus kapcsolat egyik részletkérdését: azt a problémát, hogy a vezérlés során nem szabad, hogy a töltések felgyülemzése zavart okozzon. Ezért például nagyon kell ügyelni arra, hogy az egyes esetekben a jel átlaga zérus maradjon.



Természetes ideghálózat



Idegrostok (piros) metszete

Következtetések

Az info-bionika területe a technológiai fejlődés, a társadalmi várakozások és a bioetikai megfontolások érzékeny kölcsönhatását is szemléletesen példázza. A technológia lehetővé teszi, a társadalom pedig igényli az info-bionikai eszközök és érzékelő számítógépek használatát. Ez a szükséglet összefügg azzal, hogy a populáció egyre idősebb, illetve hogy a biztonsági rizikófaktorok folyamatosan szaporodnak otthon, a munkahelyeken, a közlekedésben, valamint az iparban és a környezetben.

Valószínű, hogy az áttöréseket nem a jelenlegi termékek és szolgáltatások jobbá tétele, hanem vadonatúj termékek és szolgáltatások jelentik, olyanok, amelyek eddig nem léteztek. Ezek nem feltétlenül lesznek mind nagyon bonyolult dolgok (gondoljunk a golyóstoll példájára, amely annak idején jelentős innováció volt).

Különös jelentősége van és lesz az emberi szervezetbe beépített különféle protéziseknek. Ezek új bioetikai kérdéseket vetnek fel.

Az új terület egy eddig szokatlan oktatási innovációt is jelent. Egyrészt olyan elektronikai és számítógépmérnökök (műszaki informatikusok) képzését igényli az egyetemeken, akik már az első évtől – tizennyolc éves kortól – tanulják az élő természet egy szelétét (például az első ilyen európai kísérletben, a Pázmány Egyetem Információs Technológiai Karán, az idegtudományt), a másik oldalon pedig olyan orvosok képzését követeli meg, akik tanulmányaik kezdetétől fogva hallgatnak elektronikát, számítás- és információtechnikát. Azok a diplomások, akik ebben az emelt szintű képzésben vettek részt, gazdagabb gondolatvilággal, nagyobb alkotóerővel kerülnek ki az egyetemről.



Ajánlott irodalom

Chua, Leon O. – Roska, Tamás: Cellular Neural Networks and Visual Computing – Foundations and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

Chua, Leon O.: CNN: A Paradigm for Complexity. World Scientific (Series on Nonlinear Science, Series A., Vol 31) Singapore, 1998.

Hänggi, Martin – Moschytz, George S.: Cellular Neural Networks: Analysis, Design, and Optimization. Kluwer Academic Publishers, 2000.

Pierzchala, Edmund – Gulak, Glenn – Chua, Leon O.: Field-Programmable Analog Arrays. Kluwer Academic Publishers, 1998.

Roska Tamás: A számítógépek fejlődési irányai 1: Természet motiválta architektúrák. In: *Élet és Tudomány*, 1998/21.

Roska Tamás: A számítógépek fejlődési irányai 2: Analogikai számítógép. In: *Élet és Tudomány*, 1998/22.

Roska, Tamás – Vandewalle, Joos (ed.): Cellular Neural Networks. Wiley, John and Sons, 1994.

Roska, Tamás – Rodriguez-Vázquez, Ángel (ed.): Towards the Visual Microprocessor. Wiley, John and Sons, 2001.